

523,187

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
4. März 2004 (04.03.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/019048 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G01P 15/08**,
B81B 3/00

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ULLMANN, Dirk
[DE/DE]; Ringelbachstr. 237, 72762 Reutlingen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/000591

(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

(22) Internationales Anmeldedatum:
25. Februar 2003 (25.02.2003)

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

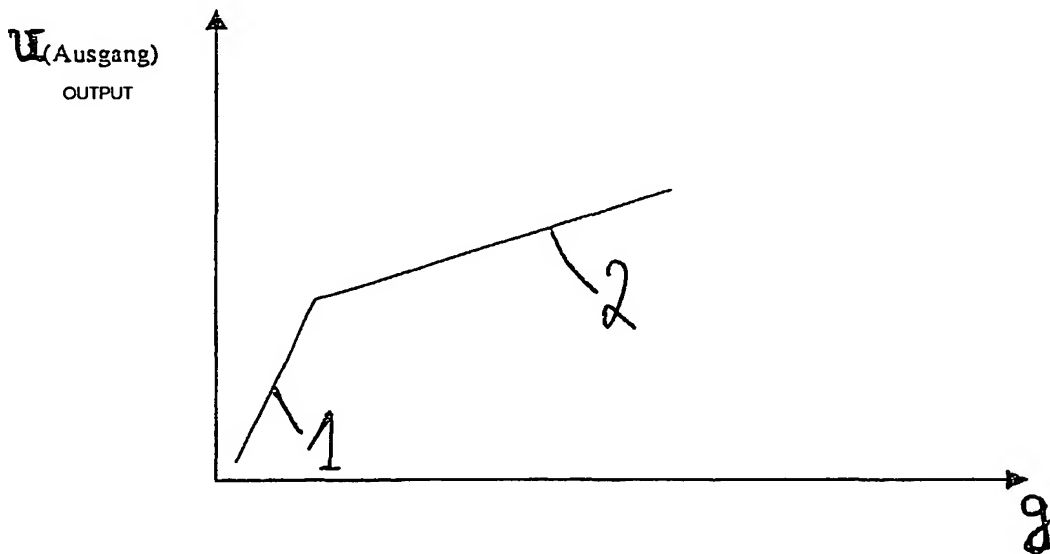
(30) Angaben zur Priorität:
102 35 370.0 2. August 2002 (02.08.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02
20, 70442 Stuttgart (DE).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: MICROMECHANICAL COMPONENT

(54) Bezeichnung: MIKROMECHANISCHES BAUELEMENT



(57) Abstract: The invention relates to a micromechanical component, especially an acceleration sensor, comprising a substrate, at least one seismic mass, whereby the first end of the spring device is connected to the substrate and the second end is connected to the mass. The stiffness (spring constant) of the spring device is such that a movement of the mass relative to the substrate can occur as a result of an acceleration relative to the substrate, especially parallel to a surface of said substrate.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein mikromechanisches Bauelement, insbesondere Beschleunigungssensor, mit einem Substrat, mindestens einer seismischen Masse, wobei die Federeinrichtung mit einem ersten Ende mit dem Substrat und an einem zweiten Ende mit der Masse verbunden ist, und wobei die Steifigkeit (Federkonstante) der Federeinrichtung so ausgelegt ist, dass durch eine Beschleunigung relativ zum Substrat, insbesondere parallel zu einer Oberfläche des Substrats, eine Bewegung der Masse relative zum Substrat verursachbar ist.

WO 2004/019048 A1

Beschreibung

Mikromechanisches Bauelement

5 Die Erfindung betrifft ein mikromechanisches Bauelement, insbesondere Beschleunigungssensor, mit einem Substrat, mindestens einer Federeinrichtung und mindestens einer seismischen Masse, wobei die Federeinrichtung mit einem ersten Ende mit dem Substrat und an einem zweiten Ende mit der Masse verbunden ist, und wobei die Steifigkeit (Federkonstante) der Federeinrichtung so ausgelegt ist, dass durch eine Beschleunigung relativ zum Substrat, insbesondere parallel zu einer Oberfläche des Substrats, eine Bewegung der Masse relativ zum Substrat verursachbar ist.

15

Ein derartiges mikromechanisches Bauelement ist bereits aus der DE 100 12 960 A1 bekannt.

20

Obwohl auf beliebige mikromechanische Bauelemente und Strukturen, insbesondere Sensoren und Aktuatoren, anwendbar, werden die vorliegende Erfindung sowie die ihr zugrunde liegende Problematik in Bezug auf einen in der Technologie der Silizium-Oberflächenmikromechanik (OMM) herstellbaren mikromechanischen Beschleunigungssensor erläutert.

25

Beschleunigungssensoren, und insbesondere mikromechanische Beschleunigungssensoren in der Technologie der Oberflächen- bzw. Volumenmikromechanik, gewinnen immer größere Marktsegmente im Kraftfahrzeugausstattungsereich und ersetzen in zunehmendem Maße die bisher üblichen piezoelektrischen Beschleunigungssensoren.

30

Die bekannten mikromechanischen Beschleunigungssensoren funktionieren üblicherweise derart, dass die federnd gelagerte seismische Masseneinrichtung, welche durch eine externe Beschleunigung in mindestens eine Richtung auslenkbar ist, bei Auslenkung eine Kapazitätsänderung an einer damit verbundenen

35

Differentialkondensatoreinrichtung bewirkt, die ein Maß für die Beschleunigung ist. Eine Differentialkondensatoreinrichtung mit einer zur Oberfläche des Substrats parallelen Kammstruktur aus bewegten und festen Elektroden ist in der genannten Offenlegungsschrift beschrieben. Die Auslenkung kann auch anhand einer anderen geeigneten Messmethode nachgewiesen werden.

Die Empfindlichkeit solcher bekannter mikromechanischer Beschleunigungssensoren für die Messgröße Beschleunigung kann gegenwärtig im Wesentlichen nur durch die Steifigkeit der Federlagerung der seismischen Masse eingestellt werden, also durch deren vorab zu wählende Federkonstante. Eine hohe Empfindlichkeit bedeutet dabei jedoch, dass die linearen Rückstellkräfte der Federn klein sind, so dass das Bauelement aufgrund seiner entsprechend geringen Belastbarkeit nur als Nieder-g-Sensor einsetzbar ist. Für Beschleunigungssensoren, die in einem Bereich mit höherer maximaler Beschleunigung, beispielsweise 50 g (g = Erdbeschleunigung) oder 100 g eingesetzt werden sollen, ist deshalb die Federeinrichtung von vornherein mit einer höheren Steifigkeit (Federkonstante) auszulegen.

Aufgrund des linearen Zusammenhangs zwischen Beschleunigung und Auslenkung korrespondiert bei einer derartigen, "harten" Feder eine große Beschleunigung allerdings mit einer kleinen Auslenkung, demnach auch mit einer geringeren Empfindlichkeit des Beschleunigungssensors. Für die praktische Anwendung besteht der Wunsch nach Sensoren, die gleichzeitig eine hohe Auflösung im unteren Messbereich und einen großen, das heißt bis zu großen maximalen Beschleunigungen reichenden, Messbereich aufweisen; bisher muss sich der Anwender jedoch entweder für eine bestimmte Bereichs- bzw. Empfindlichkeits-Klasse entscheiden oder – als aufwendige Alternative – mehrere Sensoren verschiedener Bereichsklassen gleichzeitig einsetzen.

Die vorab zu wählenden g-Bereichsklassen bedingen auch den herstellungstechnischen Nachteil, dass für verschiedene g-Bereichsklassen jeweils verschiedene Layouts erforderlich sind. In der oben genannten Offenlegungsschrift wird deshalb
5 ein gattungsgemäßer Beschleunigungssensor vorgeschlagen, bei dem die Federsteifigkeit auch nach Herstellung – beim Vormessen oder Endmessen – noch extern einstellbar ist, so dass ein einziges Layout bzw. Design für einen breiten Bereich von Steifigkeiten verwendbar ist. Zu diesem Zweck sind Teile der
10 Federeinrichtung entarretierbar bzw. arretierbar ausgeführt, so dass eine gewünschte effektive Federkonstante insbesondere durch Wirkung eines Messstroms oder eines extern steuerbaren Magnetfeldes auf einen Trennbereich einstellbar ist. Einmal vorgenommene Einstellungen sind allenfalls durch eine erneute
15 externe Einstellprozedur änderbar.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein mikromechanisches Bauelement der eingangs genannten Art anzugeben, das – ohne externe Beeinflussung zu erfordern – gleichzeitig eine
20 hohe Auflösung im unteren Messbereich und einen großen, das heißt bis zu großen maximalen Beschleunigungen reichenden, Messbereich aufweist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die
25 Federeinrichtung für ein intrinsisch nichtlineares Verhalten entsprechend einer progressiven Feder-Kennlinie ausgelegt ist, in der eine größere Beschleunigung mindestens bereichsweise mit einer größeren Steifigkeit (Federkonstante) verknüpft ist, so dass das Bauelement mit dieser nichtlinearen
30 Federeinrichtung bei größerer Beschleunigung mindestens bereichsweise eine geringere Empfindlichkeit aufweist.

Das nichtlineare Bauelement mit seiner degressiven Sensor-Kennlinie (entsprechend der progressiven Kennlinie seiner Federeinrichtung) liefert eine über den Messbereich der Beschleunigung mindestens bereichsweise oder sogar stetig abfallende Empfindlichkeit. Abgesehen von der unterschiedlichen

Empfindlichkeit kann erfindungsgemäß somit die Funktion von zwei verschiedenen g-Bereichsklassen-Sensoren mit einem einzigen nichtlinearen Bauelement abgedeckt werden.

- 5 In den Unteransprüchen finden sich vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des in Anspruch 1 angegebenen mikromechanischen Bauelementes.

10 Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist die Federeinrichtung durch zwei Biegefederelemente gebildet, die so angeordnet sind, dass die Beweglichkeit des ersten Biegefederelementes gegenüber dem Substrat durch einen elastischen Federanschlag eingeschränkt aber nicht begrenzt ist, wobei der Federanschlag durch das zweite Biegefederelement selbst gebildet ist. Bei zunehmender Beschleunigung weist die Empfindlichkeit des Bauelementes dadurch zunächst einen konstanten, der Federkonstante des ersten Biegefederelementes entsprechenden Wert auf, während die Empfindlichkeit ab Erreichen des Federanschlages – aufgrund der Mitnahme des zweiten Biegefederelementes durch das erste Biegefederelement bei der weiteren Auslenkung – einen wiederum konstanten, jedoch einer höheren Federkonstante entsprechenden höheren Wert aufweist. Auf diese einfache Weise lässt sich ein Bauelement realisieren, dessen Sensor-Kennlinie aus einem ersten linearen Teilbereich mit höherer Steigung (Empfindlichkeit) und, "mit Knick" daran anschließend, einem zweiten linearen Teilbereich mit niedrigerer Steigung (Empfindlichkeit) zusammengesetzt ist. Die intrinsische Nichtlinearität ist in diesem Fall also durch das selbstgesteuerte additive Zusammenwirken zweier Federelemente implementierbar.

35 Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung lässt sich ein (nahezu) stetig nichtlineares Verhalten dadurch realisieren, dass die Federeinrichtung durch ein längliches, quer zur Richtung der Beschleunigung angeordnetes und vom ersten zum zweiten Ende pyramidal zulaufendes Biegefederelement gebildet ist, dessen Federkonstante mit der Biegung stetig zunimmt, so

dass diese intrinsische Nichtlinearität einen annähernd logarithmischen Verlauf der Bauelement-Kennlinie bewirkt. Das Federelement bringt in diesem Fall nichtlineares Verhalten also aufgrund des verwendeten Materials und der geometrischen Gestaltung selbst schon mit sich.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt

10

Figur 1 in einem schematischen Diagramm die Bauelement-Kennlinie mit der Abhängigkeit des Ausgangssignals von der Beschleunigung für ein Bauelement der Ausführungsform gemäß Figur 2 und Figur 3,

15

Figur 2 und Figur 3 eine partielle Aufsicht auf zwei verschiedene Funktionszustände eines Beschleunigungssensors gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung,

20

Figur 4, in gleicher Ansicht wie Figur 2 und 3, einen Beschleunigungssensor gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung.

25

Figur 1 zeigt den nichtlinearen Verlauf der Sensor-Kennlinie 1 und 2, wie sie beispielsweise durch die Biegefederelemente gemäß Figur 2 und Figur 3 realisierbar ist. In diesem einfachen Fall einer nichtlinearen Kennlinie ist diese aus einem ersten konstanten Teilbereich 1 mit höherer Steigung und einem zweiten Teilbereich 2 mit einem ebenfalls konstanten, jedoch weniger steilen Verlauf unstetig, mit einem "Knick", zusammengesetzt, so dass die Sensor-Kennlinie insgesamt einen degressiven Verlauf hat.

30

Der Zusammenhang der in Figur 1 dargestellten Sensor-Kennlinie 1 und 2 mit der nicht dargestellten Feder-Kennlinie besteht darin, dass gemäß dem Hookschen Gesetz die lineare Rückstellkraft der Federeinrichtung der Auslenkung direkt

35

proportional ist, so dass das gemäß der Auslenkung der Masse gemessene, in Figur 1 dargestellte, Sensor-Ausgangssignal U vom Kehrwert der Federkonstante abhängt. Die größere Steigung der Kennlinie 1 im unteren Messbereich, d. h. bei kleinen Beschleunigungswerten g , entspricht demnach einer hohen Empfindlichkeit des mikromechanischen Bauelementes und korrespondiert mit einer "weichen" Feder, also einer Feder mit geringer Steifigkeit bzw. Federkonstante. Umgekehrt entspricht die geringere, aber über diesen Teilbereich wiederum konstante, Empfindlichkeit des Beschleunigungssensors im zweiten Teilbereich 2 der Sensor-Kennlinie, d. h. bei großen Beschleunigungswerten g , einer "harten" Feder, also einer Feder mit größerer Steifigkeit bzw. Federkonstante.

Figur 2 zeigt, dass die Biegefederelemente 3 und 4 gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung jeweils eine längliche Form aufweisen und mit ihren ersten Enden jeweils am Bauelement-Substrat 5 verankert sind. Die Richtung der angreifenden Beschleunigung g (parallel zur Oberfläche des Substrats 5) ist in den Figuren 2 und 3 jeweils durch einen Pfeil angedeutet. Die Biegefederelemente 3 und 4 sind, parallel zueinander, quer (insbesondere senkrecht) zur Richtung der Beschleunigung g angeordnet, wobei das zweite, mit der Masse verbundene Ende 6 des ersten Biegefederelementes 3 das zweite, über das anschlagende erste Biegefederelement 3 mittelbar mit der (nicht dargestellten) Masse verbindbare, Ende 7 des zweiten Biegefederelementes 4 überragt.

Wenn, wie im Funktionszustand gemäß Figur 3 angedeutet, eine Beschleunigung der Masse eine Biegung des ersten Biegefederelementes 3 bis hin zum zweiten Biegefederelement 4 verursacht, so erfolgt ein Anschlag 8 der dem zweiten Biegefederelement 4 zugewandten Oberfläche des ersten Biegefederelementes 3 am zweiten Ende 7 des zweiten Biegefederelementes 4. Bei weiterer Beschleunigung und Deformierung des ersten Biegefederelementes 3 nimmt dieses das zweite Biegefederelement 4 bei der weiteren Biegung mit, wobei die zusätzliche Feder-

konstante des zweiten Biegefederelementes 4 ins Spiel kommt. Insbesondere durch Wahl der Länge (und damit der Steifigkeiten) der Biegefederelemente 3 und 4, der Länge des "Überstands" des ersten über das zweite Biegefederelement, sowie
5 ihres Abstandes zueinander, lassen sich Wünsche hinsichtlich der Art des nichtlinearen Biegeverhaltens in einem relativ weiten Bereich realisieren.

Figur 4 zeigt eine zweite Ausführungsform der Erfindung, wonach die Federeinrichtung durch ein längliches, quer zur
10 Richtung der Beschleunigung g angeordnetes und vom ersten zum zweiten Ende 9 pyramidal zulaufendes Biegefederelement 10 gebildet ist, bei dem aufgrund der Formgebung zu erwarten ist, dass dessen Federkonstante mit der Biegung stetig zunimmt, so
15 dass diese intrinsische Nichtlinearität einen annähernd logarithmischen Verlauf der Bauelement-Kennlinie bewirkt.

Die grundlegende bekannte Prozesssequenz der Technologie der Oberflächenmikromechanik um Beschleunigungssensoren herzustellen beruht darauf, insbesondere die seismische Masse und
20 die Federeinrichtung typischerweise in Epitaxie-Polysilizium über einer Opferschicht aus Oxid durch Ätzen zu strukturieren. Durch selektives, isotropes Ätzen der Opferschicht mit einem geeigneten Verfahren werden anschließend die freien,
25 beweglichen Bauelementkomponenten gelöst. Die Federeinrichtungen für das erfindungsgemäße Bauelement können ohne weiteres in diesem bestehenden Rahmen hergestellt werden.

Obwohl die vorliegende Erfindung vorstehend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele beschrieben wurde, ist sie darauf
30 nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Weise modifizierbar. Beispielsweise kann sie bei einem Beschleunigungssensor, bei dem, wie in der Offenlegungsschrift DE 199 59 707 A 1 beschrieben, die Schwungmasse um eine senkrecht zur Substratoberfläche liegende Drehachse und um mindestens eine parallel
35 zur Substratoberfläche liegende Drehachse elastisch aus ihrer Ruhelage auslenkbar ist, eingesetzt werden. Ebenso ist ein

Einsatz bei einem Beschleunigungssensor denkbar, bei dem zwei verschiedene Massen wippenartig senkrecht zur Substratoberfläche auslenkbar sind, wobei die Aufhängung durch eine Torsionsfeder gegeben ist.

Patentansprüche

1. Mikromechanisches Bauelement, insbesondere Beschleunigungssensor, mit einem Substrat (5), mindestens einer Feder-
einrichtung (3, 4, 10) und mindestens einer seismischen Masse, wobei die Federeinrichtung (3, 4, 10) mit einem ersten
Ende mit dem Substrat (5) und an einem zweiten Ende (6, 9)
mit der Masse verbunden ist, und wobei die Steifigkeit (Federkonstante) der Federeinrichtung (3, 4, 10) so ausgelegt
ist, dass durch eine Beschleunigung (g) relativ zum Substrat
(5), insbesondere parallel zu einer Oberfläche des Substrats
(5), eine Bewegung der Masse relativ zum Substrat (5) verursachbar ist,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Federeinrichtung (3, 4, 10) für ein intrinsisch
nichtlineares Verhalten entsprechend einer progressiven Feder-Kennlinie ausgelegt ist, in der eine größere Beschleunigung (g) mindestens bereichsweise mit einer größeren Steifigkeit (Federkonstante) verknüpft ist, so dass das Bauelement
mit dieser nichtlinearen Federeinrichtung (3, 4, 10) bei größerer Beschleunigung (g) mindestens bereichsweise eine geringere Empfindlichkeit aufweist.

2. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
- dass die Federeinrichtung durch zwei Biegefederelemente (3, 4) gebildet ist, die so angeordnet sind, dass die Beweglichkeit des ersten Biegefederelementes (3) gegenüber dem Substrat (5) durch einen elastischen Federanschlag (8) eingeschränkt aber nicht begrenzt ist,
- wobei der Federanschlag (8) durch das zweite Biegefederelement (4) selbst gebildet ist,
- so dass bei zunehmender Beschleunigung (g) die Empfindlichkeit des Bauelementes zunächst einen konstanten, der Federkonstante des ersten Biegefederelementes (3) entsprechenden Wert aufweist, während die Empfindlichkeit ab Erreichen des Federanschlags (8) – aufgrund der Mitnahme

des zweiten Biegefederelementes (4) durch das erste Biegefederelement (3) bei der weiteren Auslenkung – einen wiederum konstanten, jedoch einer höheren Federkonstante entsprechenden höheren Wert aufweist.

5

3. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,

- dass die Biegefederelemente (3, 4) jeweils eine längliche Form aufweisen,
- 10 - dass die Biegefederelemente (3, 4), parallel zueinander, quer zur Richtung der Beschleunigung (g) angeordnet sind, wobei das zweite, mit der Masse verbundene Ende (6) des ersten Biegefederelementes (3) das zweite, über das anschlagende erste Biegefederelement (3) mittelbar mit der
- 15 Masse verbindbare, Ende (7) des zweiten Biegefederelementes (4) überragt,
- und dass durch eine von der Beschleunigung (g) der Masse verursachten Biegung des ersten Biegefederelementes (3) bis hin zum zweiten Biegefederelement (4) ein Anschlag
- 20 (8) der dem zweiten Biegefederelement (4) zugewandten Oberfläche des ersten Biegefederelementes (3) am zweiten Ende (7) des zweiten Biegefederelementes (4) bewirkt ist.

4. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Federeinrichtung durch ein längliches, quer zur Richtung der Beschleunigung (g) angeordnetes und vom ersten zum zweiten Ende (9) in der Dicke abnehmendes Biegefederelement (10) gebildet ist, dessen Federkon-

30

5. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke pyramidal abnimmt.

6. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass diese intrinsische Nichtlinearität einen annähernd logarithmischen Verlauf der Bauelement-

35

Kennlinie (1, 2) bewirkt.

